



TITLE:

研究室紹介

AUTHOR(S):

CITATION:

研究室紹介. Cue 2004, 13: 18-36

ISSUE DATE:

2004-06

URL:

<https://doi.org/10.14989/57871>

RIGHT:

研究室紹介

このページでは、電気関係研究室の研究内容を少しずつシリーズで紹介して行きます。今回は下記のうち太字の研究室が、それぞれ1つのテーマを選んで、その概要を語ります。

(※は「新設研究室紹介」、☆は「大学の研究・動向」のページに掲載)

電気関係研究室一覧

工学研究科

電気工学専攻

複合システム論講座 (荒木研)

電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野 (島崎研)

電磁工学講座 超伝導工学分野

電気エネルギー工学講座 生体機能工学分野 (小林研) ※

電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野 (引原研)

電気システム論講座 電気回路網学分野

電気システム論講座 自動制御工学分野 (萩原研)

電気システム論講座 電力システム分野 (大澤研)

電子工学専攻

集積機能工学講座 (鈴木研)

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野 (石川研)

電子物理工学講座 プラズマ物性工学分野 (橋研)

電子物性工学講座 半導体物性工学分野

電子物性工学講座 電子材料物性工学分野 (松重研) ☆

量子機能工学講座 光材料物性工学分野

量子機能工学講座 光子電子工学分野 (野田研)

量子機能工学講座 量子電磁工学分野 (北野研)

附属イオン工学実験施設

クラスターイオン工学部門 (高岡研)

情報学研究科

知能情報学専攻

知能メディア講座 言語メディア分野

知能メディア講座 画像メディア分野 (松山研)

通信情報システム専攻

通信システム工学講座 デジタル通信分野 (吉田研)

通信システム工学講座 伝送メディア分野 (森広研)

通信システム工学講座 知的通信網分野 (高橋研)

集積システム工学講座 大規模集積回路分野 (小野寺研)

集積システム工学講座 情報回路方式分野 (中村行研)

集積システム工学講座 超高速信号処理分野 (佐藤研)

システム科学専攻

システム情報論講座 画像情報システム分野 (英保研)

システム情報論講座 医用工学分野 (松田研)

エネルギー科学研究科

エネルギー社会・環境学専攻

エネルギー社会環境学専攻 エネルギー情報学分野 (吉川榮研)

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座 電磁エネルギー学分野 (近藤研) ☆

エネルギー応用科学専攻

応用熱科学講座 プロセスエネルギー学分野 (塩津研)

応用熱科学講座 エネルギー応用基礎学分野 (野澤研)

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門 粒子エネルギー研究分野 (吉川潔研)

エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野 (水内研)

エネルギー機能変換研究部門 複合系プラズマ研究分野 (佐野研)

生存圏研究所

生存圏診断統御研究系 大気圏精測診断分野 (津田研)

生存圏診断統御研究系 レーダー大気圏科学分野 (深尾研)

生存圏開発創成研究系 生存科学計算機実験分野 (大村研)

生存圏開発創成研究系 生存圏電波応用分野 (橋本研)

生存圏開発創成研究系 宇宙圏電波科学分野 (松本研)

京都大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー (KU-VBL)

国際融合創造センター

創造部門

先進電子材料分野 (藤田静研) §

融合部門

ベンチャー分野 §§

高等教育研究開発推進センター

情報メディア教育開発部門 (小山田研) §§§

学術情報メディアセンター

ネットワーク研究部門

ネットワーク情報システム研究分野 (中村裕研)

注 § 工学研究科電子物性工学専攻光材料物性工学分野
と一体運営

§ § 工学研究科電子物性工学専攻橋研と一体運営

§ § § 工学研究科電気工学専攻荒木研と一体運営

複合システム論講座（荒木研究室） 「スケジューリング問題に対する厳密解法の研究」

本研究室では、複合システム論という立場から、手術中の患者の血圧制御や静脈麻酔における麻酔深度の制御など医療システム工学上のテーマを、また一つに電力・鉄鋼・交通など工学分野でのシステム最適化のテーマを扱っています。今回は、システム最適化のテーマの一つである、スケジューリング問題に対する厳密解法の研究について説明したいと思います。

スケジューリング問題とは、工場などの生産工程において生産スケジュールを策定する問題を指します。具体的には、1台または複数台の機械を用いて複数の仕事を処理する際の作業スケジュールを、与えられた評価基準を最小化あるいは最大化するよう決定する問題です。スケジューリング問題は1960年代から研究されており、機械・仕事・評価基準という3つの属性により細かく分類されています。たとえば、「 $P|pmtn|\sum w_j C_j$ 」は、性能が同じ複数台の機械を同時・並列に用いることができる（ P ）、仕事は分割して処理してもよい（ $pmtn$ ）、各仕事の完了時刻の重み和を最小化する（ $\sum w_j C_j$ ）、を表します。

スケジューリング問題は、基本的には組み合わせ最適化問題として扱うことができますが、そのほとんどがNP困難であり、効率的な解法が知られていません。このため、従来は近似解法に関する研究が主として行われてきました。しかし、近年の計算機性能の急速な向上により、厳密解法による求解が現実味を帯びてきました。また、

スケジューリング問題の解析という観点からも、厳密に最適な解は重要な意味を持っています。そこで、本研究室では、スケジューリング問題のうち、等価並列機械型・一様並列機械型納期遅れ和最小化問題（ $P||\sum T_j, Q||\sum T_j$ ）や、1機械納期ずれ和最小化問題（ $1||\sum(\alpha E_j + \beta T_j)$ ）などに対して厳密解法を構成する研究を行ってきました。ここで、「納期遅れ和」とは、各

仕事は納期からどれだけ遅れて完了したのかを足し合わせたもので、納期に間に合った場合は、0となります。一方、「納期ずれ和」とは、納期からのずれ、すなわち、納期からどれだけ遅れたか、また、どれだけ早く完了したかを足し合わせたものです。これは、納期からの遅れによる損失と、納期より早く完了することにより発生する在庫コストの両方を考慮した評価基準です。本研究室では、これらの問題に対し、分枝限定法における分枝方法や下界値計算法を工夫することにより、従来の解法よりも効率のよい厳密解法を提案しています。

今後は、さらに多くの種類のスケジューリング問題に対して厳密解法を構成し、厳密解法のライブラリを作成していく予定です。

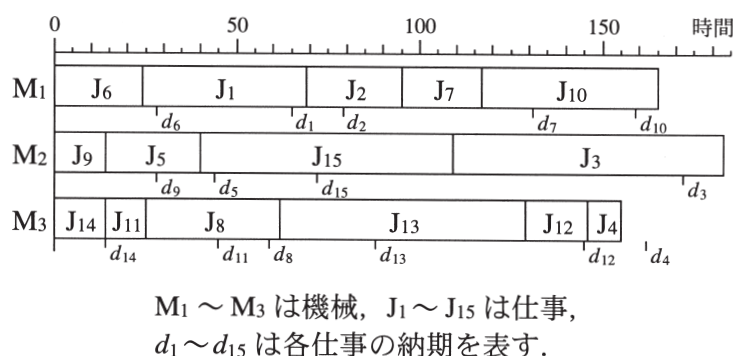


図1. $P||\sum T_j$ に対する最適スケジュールの仕事（3機械15仕事）

電磁工学講座 超伝導工学分野

「高温超伝導 (HTS) MRI マグネット電流補償用磁束ポンプ」

本研究室では、発電機、電動機、送電ケーブル、限流器といった超伝導技術の電力機器への適用と超伝導材料の適用性から見た評価、極低温環境の有効利用を中心として研究を行っている。今回は、その中で、磁束ポンプについて紹介する。

磁束ポンプとは、閉回路の中に、磁束を出し入れする機構である。閉回路を流れる電流は、総磁束に比例するので、閉回路電流を増減することができる。特に、閉回路が超伝導状態であると、永久電流モードになって、利用状態では、電流は減衰しない。現実の回路では、接続部があり、ある時定数で減衰する¹。金属系超伝導線を用いて製作されたマグネットでは、この減衰量は問題とされないが、酸化物高温超伝導 (HTS) 線では、減衰量が大きいとされている。そこで、HTS線を用いて製作されるマグネットの永久電流減衰の補償に磁束ポンプへの適用を検討している。

回転機と組合せた移動磁界型磁束ポンプは、既に全超伝導発電機の励磁機として適用され、発電試験に成功している [1]。NMRマグネットは静止しているので、リニア形電機子を採用し、直流バイアスを与えて、図1に示すように空隙中のNbフォイル上に単極磁束による常電導領域を形成し、負荷コイルと組合せた閉回路に移動させる。直流バイアス電流値、三相交流電流値、周波数で組み込む磁束量を制御する。図2に試作したリニア形磁束ポンプ部と0.54Hの負荷コイルの外観写真を示す [2]。負荷コイルは6つのコイルをトロイダル形状に配置して、磁束ポンプ部への漏れ磁束が小さくなるようにしてある。負荷コイルとの接続は、Nb-Ti線を用い、Nbフォイルへの印加磁束密度の大きさをNbの臨界磁界よりも大きく、かつNb-Tiの臨海磁界よりも小さく選ぶことで、磁束ポンプとして働く。図3に直流バイアス10A、三相交流電流5A、周波数6 Hzから9 Hzの電流波形を示す。電流増加率は、0.1A/min (@6Hz)、0.13A/min (@7Hz)、0.14A/min (@8Hz)、0.16A/min (@9Hz)、0.38A/min (@10Hz)、0.5A/min (@15Hz)、0.72A/min (@20Hz)、0.27A/min (@40Hz)、0.17A/min (@60Hz) であった。負荷コイルが10Hのインダクタンス値を持っていると、5mA/minの電流分解能となる。コアの幅40mmを5 mmにすれば、10 μ A/sとなる。

今後、コイル磁束検出値をフィードバックして電流制御を行って、超伝導マグネットの永久電流を補償する試験を行うとともに、酸化物高温超伝導体で磁束ポンプを構成することを目指している。

さらに、電流制御分解能の向上、効率の測定と高効率化を通して、実用化をはかる。今後も精力的に研究開発に取り組んでいく予定である。

参考文献

- [1] 築地浩, 星野勉, 他: 電気学会論文誌 D, Vol. 116-D, No. 11, pp. 1126- 1131 (1996.11)
- [2] Y. Chung, I. Muta, T. Hoshino, T. Nakamura: MT18, No. 5C-a03, pp. 174 (2003.10.24)
- [3] Y. Chung, et.al.:平成16 年度電気学会全国大会, Vol. 5, No. 5-038, pp. 44- 45 (2004.3.18)

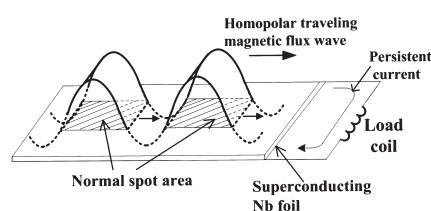


図1. 磁束ポンプ原理と移動磁界

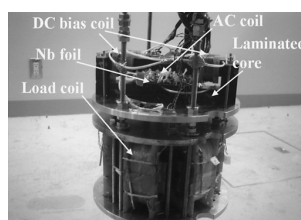


図2. 磁束ポンプと負荷コイル

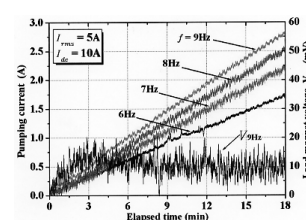


図3. 負荷電流波形

¹ 920MHzのNMRマグネットでは0.3Hz/hのドリフトが観測されている

電気システム論講座 自動制御工学分野（萩原研究室）

「2自由度最適サーボ系の設計法を用いた空気圧シリンダの位置決め制御」

空気圧シリンダを含めた空気圧系は、油圧式などと比べて保守管理が容易で安価であることから、生産設備用のシステムとして広く利用されています。しかし、空気の圧縮性に起因する剛性の低さのために、空気圧系は摩擦や負荷変動・外乱の影響を受けやすいという問題点を有しており、この問題点を克服して精密な位置決めを達成すべく様々な制御理論の適用が試みられています。本研究室では、目標値追従特性と外乱抑制特性を独立に調整できるという利点を持つ2自由度最適サーボ系の設計法に関する理論的研究を従来より進めており、この設計法を空気圧シリンダの位置決め制御に適用して実験によりその有効性を検証しています。

図1に空気圧サーボ実験装置の基本構成を示します。コンプレッサで圧縮された空気はいったんエアタンクに貯蔵され、その後エアフィルタで塵や水分が取り除かれ、エアコントロールユニットで一定圧力に保たれます。この圧縮空気をシリンダに送り込むことによって、テーブルを動かします。シリンダに流入する空気の量および向きは、サーボバルブに与えられる入力電圧により決まります。テーブルの位置をセンサで検出してサンプリング周期1msごとにに取り込み、制御用計算機に実装された制御則にしたがってバルブへの入力電圧を決定することで位置決め制御が可能となります。この制御則の部分を実験結果を図2に示します。横軸は時間[s]、縦軸は位置[count]を表わし、1countが約15 μm に相当します。図2では目標値を2000countとしています。

図2の破線で示した応答は、単純な比例制御により位置決め制御を行なった場合のものです。制御対象が積分性を有しているため定常偏差なく目標値に追従していますが、立ち上がり部分では空気の圧縮性および摩擦の影響と思われる応答のがたつきが見られます。2自由度最適サーボ系の設計では、まず最初に目標値追従特性のある2次形式の評価規範のもとで最適となるように設計し、さらに空気の圧縮性および摩擦の影響を制御対象に混入するステップ状の外乱としてとらえ、この外乱抑制を最適とするように制御則を設計しました。図2の実線で示すように、2自由度最適サーボ系の設計法に基づいて設計を行なうことで速応性を落すことなく滑らかな応答が得られています。この結果は、目標値追従特性と外乱抑制特性を独立に調整できるという利点を持つ2自由度最適サーボ系の設計法の有効性を示唆しているものと考えられます。

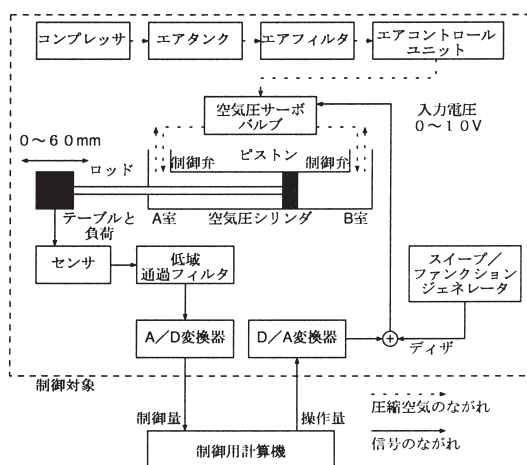


図1. 空気圧サーボ実験装置の基本構成

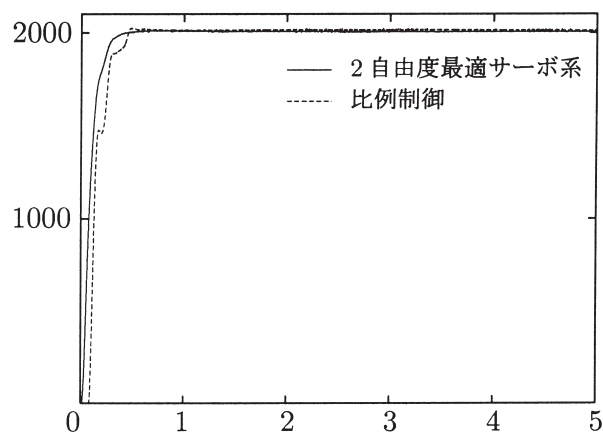


図2. 空気圧シリンダの位置決め制御

電気システム論講座 電力システム分野（大澤研究室） 「電力自由化市場における電圧アンシリャーサービスの評価法の検討」

電気料金の低減、競争原理導入による効率化を目的として電力市場の規制緩和、自由化が進められています。アンシリャーサービス（Ancillary Service, 以下AS）とは、電力系統の信頼性、安定性を確保するための系統運用・制御のことで、周波数制御、電圧制御、供給予備力確保などが含まれます。本来の目的である電力の供給からみて補助的な位置づけということからアンシリャーサービス（補助的サービス）と呼ばれますが、それなくしては電力供給ができないというきわめて重要不可欠なものです。従来、これらのサービスは電力会社によって電力供給と一体化して一元的に行われてきましたが、電力自由化による新規参入事業者が今後とも増加すると予想されるので、それらにかかるコストを公平に分担するためにASを定量的に評価することが求められています。ASの評価には、ASを供給するのに要するコストの評価と、供給されたASの価値（効果）の評価の二面性があります。例えば、周波数制御は全系的な（グローバル）制御ですので、電力系統のどこで制御しても価値に余り差は生じませんが、無効電力制御による電圧制御などは制御位置によって効果は大きく異なってきます。従来の電力会社においては、コストを考慮して最も効率的になるように計画・運用されてきたので、価値とコストが同時に考慮されていることになり、両者を分離する必要はありませんでした。電力自由化市場においては、新規事業者がASに寄与する可能性もあり、またさらには、ASが市場で取り引きされることも考えられるので、価値を評価することが必要となってきました。本研究は、発電機や調相設備の無効電力制御の電圧面から見た価値の評価法の確立を目指すものです。

具体的には、無効電力の変化に対する電圧の変化のモード解析（固有値解析）によって静的電圧安定性の指標（例えば、ヤコビアン行列の行列式の値すなわち全ての固有値の積）を定義し、電圧安定性への貢献度によって電圧ASの価値を評価することを試みています。電圧安定性指標-無効電力感度（V-Q感度）に基づく評価指標や、支配的なモードに影響を及ぼす度合い（寄与率）に基づく評価指標などを考案して、それらの妥当性の検証を行っています。

図2は、図1のWEST30機系統と呼ばれる電気学会標準モデルを対象として計算したV-Q感度に基づく各発電機の無効電力制御の評価結果を示しています（縦軸は任意目盛り）。大需要地近傍の発電機や支配的なモードに対する寄与率の高い発電機の評価が高くなることを確認しています。

工学的に妥当であるだけでなく、新規参入事業者に対しても説得力のある評価法を確立することが重要であると考えています。

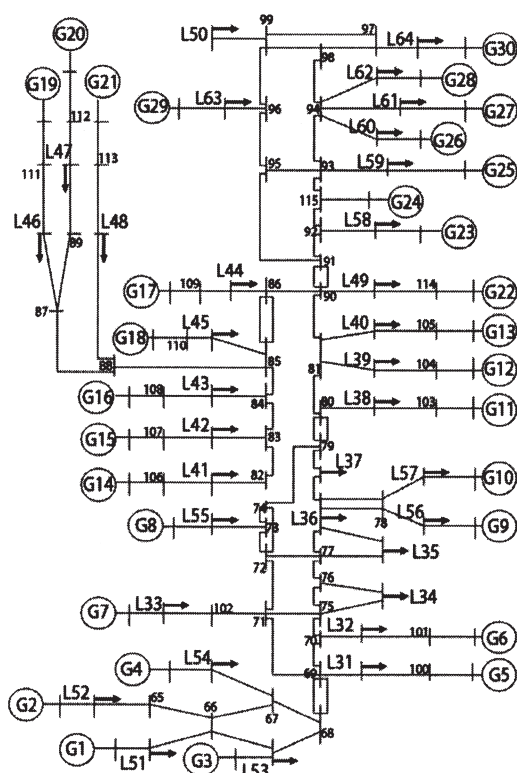


図1. 例題系統（電気学会標準モデル）

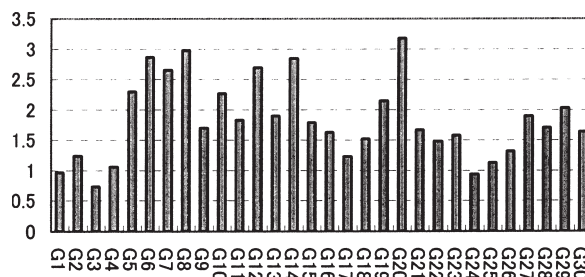


図2. V-Q感度に基づく各発電機の指標の計算結果

電子物理工学講座 プラズマ物性工学分野（橋研究室） 「マイクロプラズマによる新規プロセスおよび新規デバイスの創生」

“マイクロプラズマ”とは、ミリメートル以下の微小なプラズマを総称しており、プラズマディスプレイ内のマイクロプラズマが最も馴染みが深く、既に実用化されています。しかし、マイクロプラズマの応用範囲はさらに大きく広がっていると考えられ、当研究室ではプラズマディスプレイパネルのマイクロプラズマの研究に加えて、マイクロプラズマを用いたプロセス用大気圧動作プラズマ源の開発およびマイクロプラズマの機能を積極的に用いた新規デバイス創生を目指した研究を行っており、合わせてマイクロプラズマのパラメータ領域にて生じる特有な物理機構を把握することを目指しています。

プラズマの生成条件としてよく知られた経験則に、パッシェンの法則があります。これは、あるプラズマの大きさ（電極間距離）に対して最適な動作圧力が決まる、というものです。現在、半導体等の産業界ではプロセス装置の簡素化・低コスト化の観点で大気圧動作化への要望が高まっておりますが、これまで用いられてきた低気圧動作のプラズマ源は大気圧動作には全く不向きです。それに対して、マイクロプラズマはその大きさが小さいため大気圧下でも安定した生成・維持が可能であるため、当研究室ではマイクロプラズマを集積化することで大面積処理が可能な大気圧プラズマ源を「同軸型誘電体バリアマイクロ放電」として新たに提案しました。これは、誘電体で被覆されたメッシュ状の電極を2枚重ねることで、メッシュの孔内に同軸構造の誘電体バリアマイクロ放電を生成するものです。図1に、ヘリウムガスを用いたときの各圧力における放電開始電圧条件ならびに集積構造の発光パターンを示します。大気圧条件に至るまでどの圧力帯においても、均一な発光パターンを実現できました。現在、このプラズマ源を大気雰囲気にて動作させ、各種プロセスへの応用を視野に入れた研究を行っています。

また、当研究室では、マイクロプラズマによる新規デバイスの創生についても取り組んでおります。プラズマは、これまでの産業界においては、各種照明器具の中で、あるいは半導体産業にてプロセス装置の中で広く使われてきましたが、そこではプラズマの性質として主に非平衡性（電子が他の粒子に比べて約2桁温度が高いこと）が利用されてきました。しかしながら、プラズマはこの他にも多くの特質（導電性、誘電性等）を備えており、それらが積極的に利用された例は多くありません。当研究室では、マイクロプラズマが包含する様々な特質を利用することで、“プラズマデバイス”を構成しこれまでの固体デバイスが実現できなかった新規デバイスを創生するべく研究を行っています。図2に、その原理検証実験として、プラズマをチャネルとしたトランジスタ類似動作を示します。動作圧力を調整することで、2電極（A, K）間の放電電流を第3の電極（C）の電位で連続的に制御し、かつ第3電極（C）は高インピーダンス状態を保って電流はほとんど流れていません。このように、プラズマの導電性を利用したスイッチング素子や、プラズマの誘電性を利用した電磁波の制御素子が実現可能と考えています。

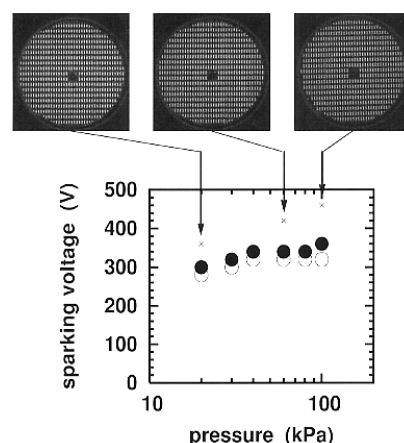


図1. 同軸型誘電体バリアマイクロ放電の放電開始条件と集積構造の可視光発光パターン。

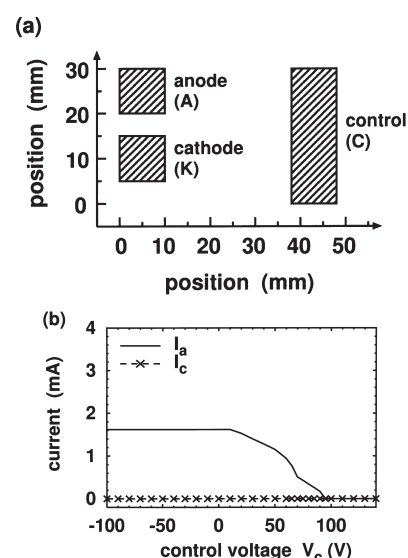


図2. プラズマをチャネルとしたトランジスタ類似動作の観測。(a) 原理検証構造と(b) 電流の第3電極電位依存性。

量子機能工学講座 光量子電子工学分野（野田研究室） 「フォトニック結晶レーザに関する研究」

近年、光を自在に操ることができる新しい光材料としてフォトニック結晶が注目されている。フォトニック結晶とは、内部に周期的な屈折率分布を形成した光ナノ材料であり、固体結晶において原子の周期ポテンシャルによって電子に対してバンド構造が形成されるのと同様に、光に対してフォトニックバンド構造が形成されるという特長をもつ。当研究室では、このフォトニック結晶による究極の光制御の実現と、そのデバイス応用を目指して研究を行っているが、その中の一つが2次元フォトニック結晶レーザ [1, 2] である。

図1はデバイスの模式図であり、活性層をもつウエハAと、表面にフォトニック結晶を形成したウエハBを融着することで、活性層近傍に2次元フォトニック結晶を形成している。図1左下は2次元フォトニック結晶における光の回折を模式的に示したものである。結晶中を伝搬する光は、図に示すように 180° の方向だけでなく、 $\pm 90^\circ$ の方向にもブラッグ回折を受ける。つまり図1右下に示すように4つの方向が互いに結合し2次元的な共振器が形成されることになる。これは従来の1次元周期構造ではあり得ない2次元周期構造特有の現象であり、これによって面内の電磁界分布が完全に規定されることになる。このため、発振領域を大面積化しても、周期構造で規定された単一のモードで発振することになり、従来の概念を越えたレーザの実現が可能となる。またこの構造においては、ブラッグ回折によって図1右下に示すように垂直方向に光を取り出すことも可能であり、面発光レーザとして動作することも特長の一つである。

図2は試作したデバイスのレーザ発振をデバイス上側から観察した近視野像と、各点での発光スペクトルを顕微分光測定装置で評価した結果である。直径約 $150\mu\text{m}$ と大面積で発振しているにもかかわらず、全ての測定点において同一波長で発振しており、大面積コヒーレント発振していることが分かる。また、これを反映してレーザ光の拡がり角は約 1.1° と、従来の半導体レーザに比べて1桁狭い値が得られている。さらに最近、デバイス構造を工夫することで図3に示すように室温連続発振にも成功した [3]。今後も、さらなる高性能化・高機能化を目指して研究を行っていく。

参考文献

- [1] M. Imada, S. Noda, A. Chutinan, T. Tokuda, M. Murata, and G. Sasaki, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, pp.316-318 (1999).
- [2] S. Noda, M. Yokoyama, M. Imada, A. Chutinan, M. Mochizuki, *Science*, **293**, pp.1123-1125 (2001).
- [3] D. Ohnishi, T. Okano, M. Imada, and S. Noda, *Optics Express*, **12**, pp.1562-1568 (2003).

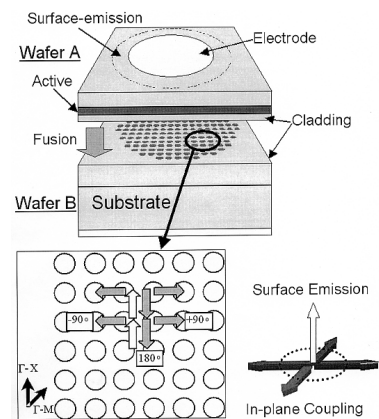


図1. デバイスおよび2次元周期構造における光の回折現象の模式図

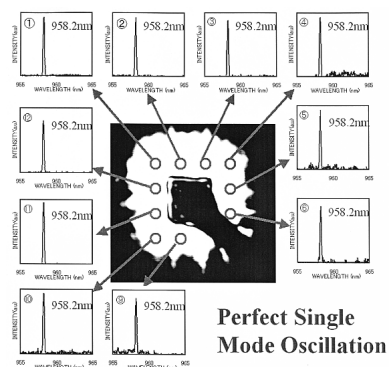


図2. デバイスの近視野像および各領域の発振スペクトル。

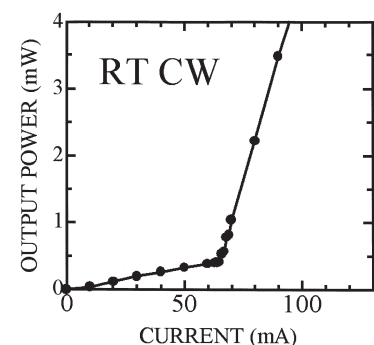


図3. デバイスのI-L特性。

量子機能工学講座 量子電磁工学分野（北野研究室）

「偏光依存性 2 光子吸収による光子対の生成に関する研究」

光子対とは、同時に放出された光子の組のことを指し、光の量子性が明確に現れる興味深い状態である。特に光子対がもつ量子的な非局所相関によって様々な特異な現象が生じる。最近ではその応用も数多く提案されており、量子テレポーテーションや量子情報などの分野で活用されている。

また、光子が同時に放出されることで、その 2 つの光子がエネルギーが 2 倍で波長が半分の 1 つの光子 (biphoton と呼ばれる) のように振る舞うことが知られている。それにより、通常の干渉 (正確には 1 次の干渉) 実験で得られる干渉縞の半分の間隔の干渉縞が 2 光子干渉という特殊な干渉実験で得られる。その応用として、高分解能の加工 (量子リソグラフィ) が提案されており、同じ波長の光でも現在のリソグラフィの倍の分解能での加工が可能になる。

レーザ光からの光子対の生成には、非線形結晶を用いるのが一般的である。非線形結晶にレーザ光を入射すると、レーザ光を形成する光子が非線形効果によって 2 つに分裂し、光子対が得られる。ただし、エネルギー保存則により光子対の周波数は半分になり、波長は倍になる。

我々は、偏光選択性をもつ 2 光子吸収過程を応用する方法を考案した [1]。図 1 を用いてその原理を説明する。偏光選択性をもつ 2 光子吸収体は、右円偏光の光子 1 つと、左円偏光の光子 1 つを吸収する。この状態を直線偏光の基底で表現すると、2 光子が水平偏光である状態と 2 光子が垂直偏光である状態の重ね合わせ状態になっている (図 1 中の吸収可能状態)。水平偏光の 2 光子状態 (図 1 の初期状態) をこの 2 光子吸収体と相互作用させると、吸収可能状態に直交した成分だけが残る (図中の終状態)。この状態も 2 光子が水平偏光である状態と 2 光子が垂直偏光である状態の重ね合わせ状態である (吸収可能状態とは重ね合わせの符号が異なる)。すると、元々は存在しなかった垂直偏光の 2 光子状態が偏光選択性 2 光子吸収による状態の射影を通して生成される。初期状態を 2 光子状態という特殊な状態で説明したが、初期状態をコヒーレント状態にとることも可能で、上の議論と同様に元々の偏光方向とは直交した偏光をもつ光子の組、つまり光子対を取り出すことができる。その様子を図 2 に示す。

これまでの研究では、偏光選択性二光子吸収体と相互作用する光に関するマスター方程式をたてて、それを摂動的に解くことで、このような現象が起こることを理論的に導いた。今後は、実験的にこの現象を実証することを目標とする。

我々の方法において生成される光子対の周波数 (あるいは波長) は用意すべきレーザ光と同じである。これは、従来のパラメトリック過程で生成する方法と大きく異なる点である。この方法で生成された光子で 2 光子干渉実験を行うことで用意したレーザ光の波長の半分の幅の干渉縞を得ることができると予想している。

参考文献

- [1] T. Nakanishi, K. Sugiyama, M. Kitano, "Generation of photon pairs using polarization-dependent two-photon absorption", Physical Review A, Vol. 67 (2003) 043809.

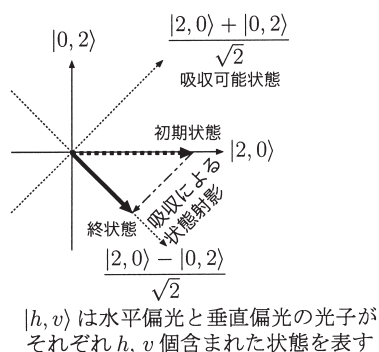


図 1. 吸収による状態変化

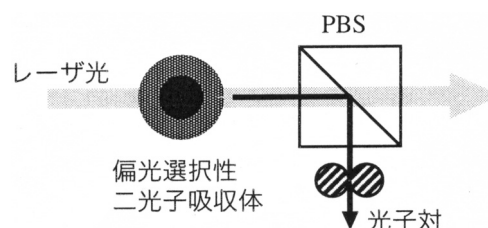


図 2. 偏光選択性二光子吸収による光子対の発生

通信システム工学講座 伝送メディア分野（森広研究室） 「インパルス雑音環境下における誤り訂正符号の最適化に関する研究」

ホームネットワークを実現する方法の一つに屋内の電力線を利用した通信がある。屋内の電力線に接続されている家電機器の多くはスイッチング回路やインバータなどにより突発的なインパルス性の雑音を発生する。このため、電力線上に観測される雑音はしばしばガウス雑音とは統計的性質が異なり、ガウス雑音を想定して設計されたデジタル通信機器の性能は大幅な劣化が生じる。そこで、電力線通信の受信機は電力線上に現れるインパルス性雑音の統計的性質を考慮に入れて設計する必要がある。本研究室では、W-CDMAやcdma2000において利用されているターボ符号のインパルス雑音環境下における最適設計を行い、計算機シミュレーションによりその特性を評価した。計算機シミュレーションでは、研究室内で観測された電力線上の雑音のうち最も劣悪なインパルス性雑音環境を用いた。

ターボ符号の最適設計の結果、図1に示すフィルタが導かれた。図1の横軸は受信機のマッチドフィルタ出力、縦軸はその信頼度を表す。図1のフィルタでは、ある一定値より大きいマッチドフィルタ出力はインパルス雑音が含まれている可能性が高いとして低い信頼度を割り当てている。このフィルタの出力をターボ復号器の入力値とすることによってインパルス雑音の影響を大幅に除去可能である。

図2にターボ符号のビット当たりの信号対雑音比に対するビット誤り率を示す。実線はインパルス雑音なしの場合、破線はインパルス雑音ありの場合のビット誤り率特性を示し、インパルス雑音環境下では同じビット誤り率を達成するのにより多くの信号電力が必要となることが分かる。一点鎖線は図1のフィルタを用いた場合におけるインパルス雑音環境下のビット誤り率関係を表す。図1のフィルタを用いない場合に比較して同じビット誤り率を達成するのに必要な信号電力は低く、インパルス雑音の影響を大幅に除去できていることが分かる。

参考文献

- [1] D. Umehara et. al, "Turbo decoding over impulsive noise channel," Proceedings of ISPLC2004, pp. 51-56, 2004.

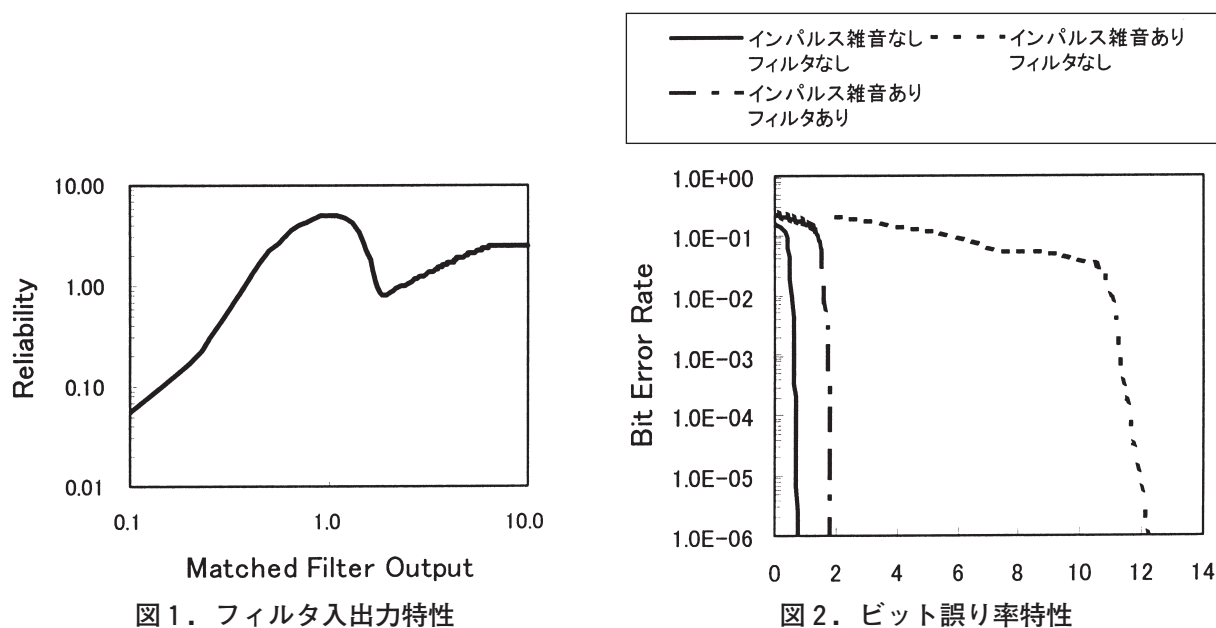


図1. フィルタ入出力特性

図2. ビット誤り率特性

通信システム工学講座 知的通信網分野（高橋研究室）

「Peer-to-Peerネットワークにおける効率的な検索ピア選択法」

インターネットにおける通信の一つのモデルとして近年P2P（Peer-to-Peer）ネットワークが注目を集めている。P2Pネットワークとは、共通のアプリケーションをインストールしたピアと呼ばれるコンピュータでインターネット上に構成された仮想的なネットワークである。いわゆるクライアント/サーバモデルとは異なり、各ピアは情報を要求するクライアントと情報を提供するサーバのいずれの役割も果たすことができる。これはサーバの役割をサービスを享受するユーザ側に分散して委ねることを意味し、これにより大規模なサーバ群を用意・維持することなく高い耐障害性を持つ大規模なサービスを提供することが可能となる。

P2Pアプリケーションとしては、2000年3月に公開されたGnutellaを初として、その後もさまざまな諸団体において開発、公開が継続され、現在では共通のプロトコルを基盤とするさまざまな派生アプリケーションソフトが誕生している。GnutellaをベースとするこれらP2Pアプリケーションは、その高い耐障害性およびネットワーク構築の容易さ等から注目を集めているが、その一方で、ルーティングの際に実ネットワーク上でのピアの位置を無視してメッセージがフラッディングされることから、少数のピアを経由した時点で実ネットワーク上において発生するメッセージ数が指数関数的に増え、非効率にネットワークを使用してしまうという問題がある。

本研究ではそれら派生アプリケーションの共通の基盤となっているプロトコルであるGnutella Protocol version 0.4をベースに、ネットワーク負荷を減らすことが可能な探索ピア選択法を提案している。提案手法ではRTT（Round Trip Time）をメトリックとしてP2Pネットワークに参加している各ピアをある程度の精度で仮想の座標空間にマッピングできることを利用する。各ピア間の距離関係（「距離」とはメトリックとしてRTTを用いたネットワーク上における距離を意味する。）が再現された仮想空間上において、あるピアがメッセージを中継する際には、そのメッセージの転送方向が常に大きく変わらないように転送先のピアを選択する。すなわち、メッセージがネットワーク内で転送されて来た仮想空間上での方向を知ることによって通信経路の冗長性を低下させ、ネットワークへの負荷を低減させる。図1、2に従来法および提案法を用いて検索ピア選択を平面上に模擬した場合における検索メッセージの軌跡を示す。これらの図を比較すればわかるように、提案法は、従来法に比して無駄にメッセージがネットワーク内を転送されることなく、メッセージの伝搬長が1桁程度削減できる。

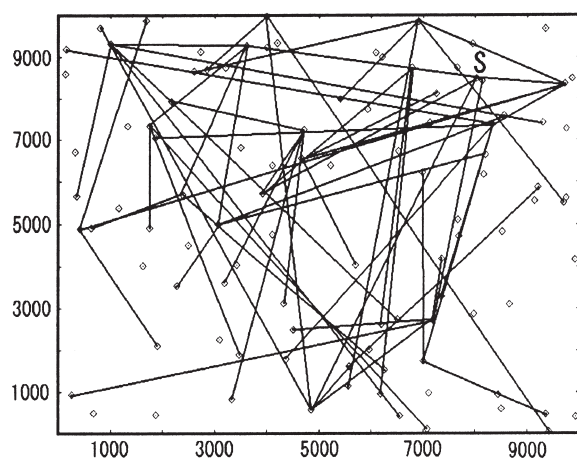


図1. 従来方式での検索ピア選択法

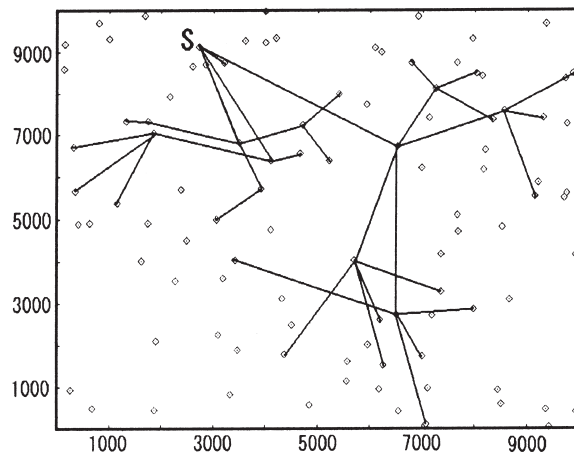


図2. 提案方式での検索ピア選択法

集積システム工学講座 情報回路方式分野（中村行宏研究室） 「三次元音響処理システムの方式検討および実装」

中村研究室では、情報回路（VLSI）の構成方式ならびに方式設計技術に関する諸々の研究開発を進めている。本稿ではその中で音響処理システムについて紹介する。

近年、音楽分野やエンターテインメント分野などでより臨場感のある音響効果システムが求められ、5.1チャンネル方式などのマルチチャンネル方式によるシステムが実用化されつつある。

しかし、リスニングルームの広さや周囲への騒音の配慮、あるいは携帯機器への応用などを考慮した場合、マルチチャンネル方式での立体音響効果の実現が不可能な聴取環境が多く存在する。そこで、通常の2チャンネル・ステレオ方式での実現が可能な三次元音響効果システムについて、大阪大学情報科学研究科情報システム工学専攻尾上研究室および(株)アーニス・サウンド・テクノロジーズと共同で研究を行っている。

2チャンネルステレオによる三次元音響効果を実現するため、本研究においては、人間が音の方向や距離といった空間的な情報を知覚する際に利用される手がかりに着目した。この手がかりには、音源から発した音が両耳に達する際の到達時間差や音量差、外耳の複雑な構造による方向選択性や、周囲の物体による反射・回折などが含まれる。これらの手がかりは音源から左右の外耳までの音声の伝達特性に起因し、単一の線形な伝達関数（頭部伝達関数）として記述が可能である。頭部伝達関数の特性をデジタルフィルタにより再現することにより、図1のように、三次元的な情報を持たないモノラル音声に三次元的な音響効果を付加することができる。

しかし、頭部伝達関数の特性は非常に複雑であり、その忠実な再現をリアルタイムで行うシステムにおいては、多くの演算量およびメモリ量が要求される。そこで、本研究においては人間の聴覚特性を考慮し、頭部伝達関数のうち聴覚上重要な特徴を抽出して再現することで、演算量およびメモリ量を削減している。この処理方式に基づいて、音声の立体的移動のリアルタイム処理や5.1ch音源から立体的2chステレオへの変換を可能とするシステム（図2）の設計・開発を行った。同時に、頭部伝達関数の特徴抽出を利用し、仮想音源の移動や効果の個人向けカスタマイズといった課題に取り組んでいる。

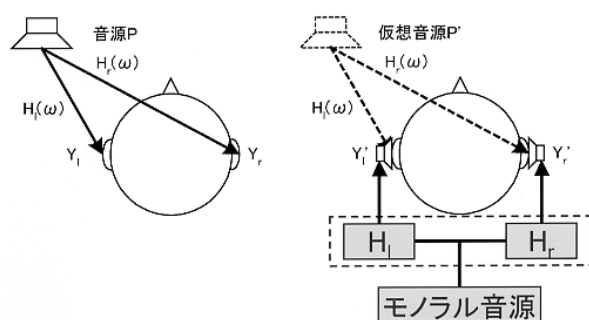


図1．三次元音響効果

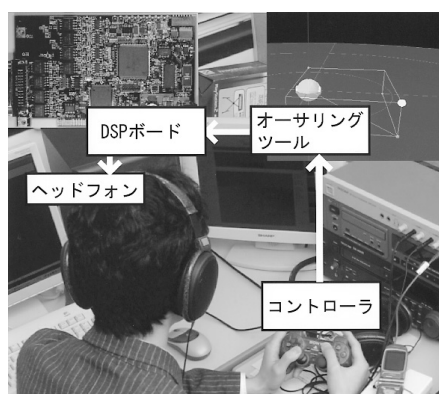


図2．三次元音響処理システム

参考文献

- K. Tsujino, A. Shigiya, W. Kobayashi, T. Izumi, T. Onoye and Y. Nakamura: "An implementation of moving 3-D sound synthesis system based on floating point DSP," in Proc. of International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT2003), WA4-8, Dec. 2003.
- 辻野孝輔, 鳴谷篤人, 小林互, 泉知論, 尾上孝雄, 中村行宏: "三次元音響定位処理における定位点間の音声補間法" 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-4-40, Sep. 2003.

集積システム工学講座 超高速信号処理分野（佐藤研究室）

「パルスレーダのための境界散乱変換による高速立体形状推定法」

近い将来、災害現場等での救助用ロボットの活躍が期待されている。カメラ等の光学手法が使用不可能な状況下で機能しうるパルスレーダをロボットの立体状況測定に使用することは有利である。単一の無指向性アンテナを走査しながらパルスの送受信を複数回行い、得られるデータから目標の立体形状を推定する問題は設定不適切逆問題の一種として知られている。この問題を解くための様々なアルゴリズムが既に提案されている。従来法として知られているマイグレーション法や離散モデルフィッティング法は、物体の種類に依存せず形状推定が可能であるという利点を有する一方で莫大な計算時間の問題を有する。当研究室では明瞭な輪郭を持つ均一な物体を対象としたノンパラメトリックな目標形状推定アルゴリズムの開発を進めている。

単一の無指向性アンテナを平面走査し、直線偏波の超広帯域モノサイクルパルスを送受信する。受信された信号はA/D変換され、メモリ内に保存される。受信信号へは送信波形により生成した整合フィルタ処理の後、本稿で提案する信号処理を適用する。xyz座標系内の $z=0$ 上でアンテナを走査し、アンテナ位置 $(x, y, z) = (X, Y, 0)$ で受信された信号を $s(X, Y, Z)$ と定義する。ここで $Z=ft/2$ とする。但し、 t は受信時刻、 f は中心周波数である。 x, y, z, X, Y のいずれも中心波数で正規化する。目標境界上を動く点 (x, y, z) と $s(X, Y, Z)$ の等位相面上を動く点 (X, Y, Z) の間には次式の可逆な変換関係が成り立つことを明らかにした [1]。

$$\begin{cases} X = x + z\partial z / \partial x \\ Y = y + z\partial z / \partial y \\ Z = z\sqrt{1 + (\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \end{cases} \quad \begin{cases} x = X - Z\partial Z / \partial X \\ y = Y - Z\partial Z / \partial Y \\ z = Z\sqrt{1 - (\partial Z / \partial X)^2 - (\partial Z / \partial Y)^2} \end{cases}$$

左の変換を境界散乱変換、右の変換を逆境界散乱変換と呼ぶ。また、 (X, Y, Z) の動く等位相面を疑似波面と呼ぶ。この逆変換が存在する意義は大きく、疑似波面が抽出されれば逆問題が上式の単純な変換に帰着される。提案手法では最初に $s(X, Y, Z)$ から疑似波面を抽出し、逆境界散乱変換を適用する。

次に、図1に示される完全導体目標に対し、提案手法の適用結果を示す。パルス送信間隔は0.25波長毎とし、 51×51 箇所でのパルス送受信を仮定する。疑似受信信号を数値計算により作成し、提案手法を適用する。推定目標形状を図2に示す。直接散乱波が受信される範囲において形状が推定されることが確認される。計算時間はXeon2.8GHzプロセッサを用いて約0.1秒と高速である。

パルスレーダのためのノンパラメトリックな立体形状推定手法を紹介した。提案手法は可逆な変換関係である境界散乱変換を利用した推定法である。この手法は従来法と異なり、目標の形状に対する条件が必要である一方、高速かつ安定した立体形状推定が可能である。

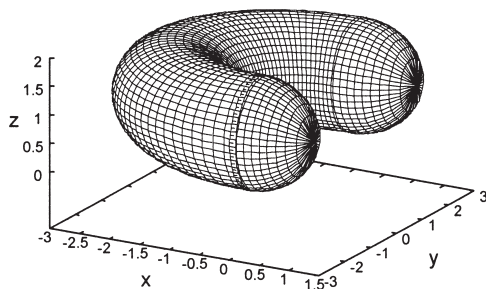


図1. 適用例に用いる真の目標形状

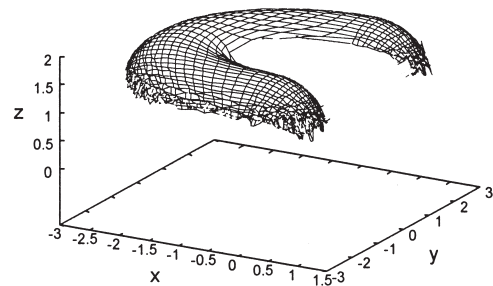


図2. 提案法により推定される目標形状

参考文献

- [1] T. Sakamoto and T. Sato, IEICE Trans. on Commun. Vol.E87-B, No.5, May, 2004.

システム情報論講座 画像情報システム分野（英保研究室） 「頭部MRAデータ 3次元表示のための血管領域抽出」

日本人の死亡原因の中で、脳卒中は癌、心疾患に次いで大きな割合を占める。脳血行障害は自覚症状に乏しいため事前予知が難しく、発症した場合はごく短い時間内に、患部状況を正確に把握し、適切な処置を行わなければならない。このような切迫した状況において、医師の診断・治療を的確にサポートする診断支援システムの果たす役割は極めて大きい。

脳血管の情報はCTA（CT Angiography）やMRA（MR angiography）像として得られる（図1）。これら断層像上において、血管は点または細切れの線としてしか映らないため、血管の観察には、投影像や3次元像（図2）のような、多数枚の断層像を1枚に集約した画像が必要になる。3次元像は投影像に比べて血管のリアルな描写が可能であり、また、血管同士の前後関係も明確に表示できるという特長を持つが、その作成には、血管領域をあらかじめ抽出しておく必要がある。特にMRAデータは血管の輝度が広い範囲にわたるため、しきい値処理などの単純な手法で血管領域を抽出することは難しい。

本研究では、脳血管が枝分かれ構造を持つことに着目し、枝単位の再帰的領域拡張により血管領域を抽出する手法を考案した [1]。本手法では抽出条件を動的に変更することが可能になるため、各枝の属性に応じて適切に定めた抽出条件を用いることで、より高精度な抽出結果を得ることができる。なお領域拡張法を血管に適用した場合、拡張途中の途切れがしばしば問題となるが、本手法では、各枝先端において周囲血管の探索処理を付加することで、これに対処している。

3次元抽出領域の評価は、通常、抽出領域の3次元像の観察によって行われる。しかしこの評価法は評価者の知識や主観に依存し、客観的な評価が望めない。そこで血管領域を手作業により正確に抽出しておき、このリファレンス領域に対する差分量をもとに、提案手法の抽出過剰量と抽出不足量を評価する。ただし断層像上では血管の識別自体が困難なため、手作業による血管抽出は血管識別の容易なMIP（Maximum Intensity Projection）上で行い、差分量の計算も投影像間において行うように変更を加えた。

5セットのMRAデータを用いて本手法の評価を行ったところ、すべてのデータについて本手法の従来手法に対する改善効果が確認できた（図3）。

参考文献

- [1] 関口博之、杉本直三、英保茂、花川隆、浦山慎一：枝単位リージョングローイングによる頭部MRAからの血管抽出、信学論, Vol.J87-D-II, No.1, pp.126-133, 2004

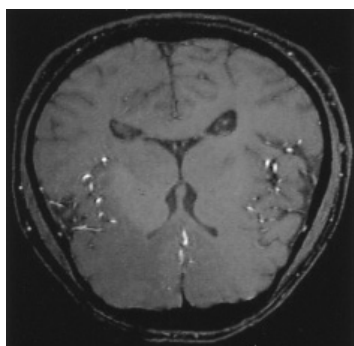


図1. 頭部MRAデータ
（中央部の断層像）

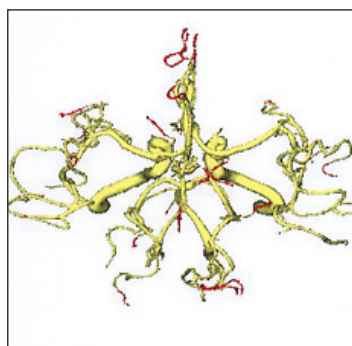


図2. 脳血管3次元像
赤は途切れ先の血管

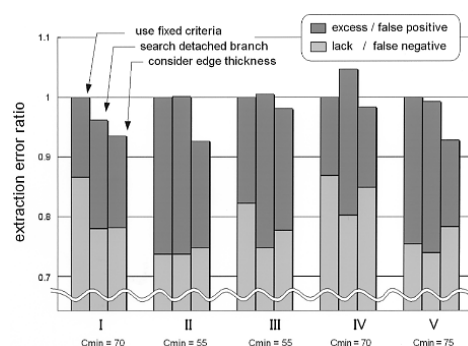


図3. MRA 5例に対する抽出誤差の改善
左：従来法、中・右：提案手法

応用熱科学講座 エネルギー応用基礎学分野（野澤研究室） 「多重記憶可能な1T/1C型FeRAMとその機能メモリへの応用」

1. はじめに

ユビキタスコンピューティング社会に向けた、低消費電力・低環境負荷と高機能性を兼ね備えたIT電子機器、電子システムの構築を目指してハード（強誘電体メモリ（FeRAM）など新機能材料物性）とソフト（不揮発性多値メモリにおける低消費電力をめざした符号化アルゴリズム、回路設計、環境評価）の両面から研究を展開している。これらの成果として、多値記憶可能なFeRAMメモリとその応用 [1] について紹介する。

2. 多重記憶可能な1T/1C型FeRAM

FeRAMは、不揮発性メモリの中でも特に低消費電力などの点で非常に優れたメモリである。しかし、集積度やコストなど解決すべき課題も依然としてある。われわれは、Fig.1に示したように電源電圧 $V_{DD} < V_c$ （坑電圧）に制御して実現できる強誘電体ヒステシス・マイナーループを利用したマルチビット、マルチレベルなどの多値技術によって、課題を解決できる可能性を検討してきた。そして、新しいタイプのメモリとして、多重記憶可能な1T/1C型FeRAMを提案し、それを用いた機能メモリを設計し、その評価を行っている。

このメモリは、以下の特徴がある。

- (1) 従来の1T/1C型FeRAMと同じセル構成で、既存プロセス技術を用いることができる。
- (2) 同じセルを従来の2値メモリや多値メモリに用途に応じて使い分けできる。
- (3) 1つのセルで4値記憶が可能であるので、記憶容量が従来の2倍になる。
- (4) データの書き込み／読み出しはビット直列で、読み出しは通常のセンスアンプを用い、特別な回路が不要である。

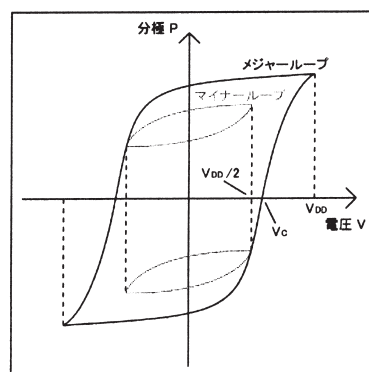


Fig. 1 強誘電体の分極ヒステシスループの多状態図

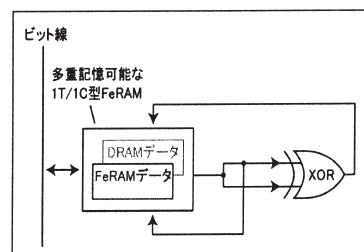


Fig. 2 機能メモリの構成

3. 機能メモリへの応用

多重記憶可能な1T/1C型FeRAMの応用として、メモリに演算回路を付加し、補助メモリとプロセッサ間の通信量を減らしボトルネックの解消を目指す機能メモリを紹介する。提案した機能メモリ回路はメモリ部と制御部で構成され、メモリブロックはFig.2で示すように（メモリ＋演算回路）で、2次元アレイ状に配置する。外部からのメモリへのアクセスはビット線を通じて行い、内部演算時には全メモリブロックで並列処理する。制御部では、入出力のためのアドレスや、演算回路の制御信号を生成する。Fig.2のXOR回路は2つのデータの差分を取ることができるので、例えば画像処理などに有用であると考えられる。

参考文献

- [1] H. Kato and H. Nozawa: "Proposal for 1T/1C ferroelectric random access memory with multiple storage and application to functional memory", Japan Journal of Applied Physics, 42, 9B, 5998-6002(2003).

エネルギー生成研究部門 粒子エネルギー研究分野（吉川潔研究室） 「慣性静電閉じ込め核融合中性子・陽子源の研究」

慣性静電閉じ込め核融合（Inertial Electrostatic Confinement Fusion: IECF）とはイオンを球形状中心に加速・集束させ核融合反応を起こさせるもので、ビーム・ビーム衝突核融合の一種です（図1、2）。すなわち、球形の真空容器（陽極）とメッシュ状球殻陰極との間でグロー放電を起こさせると生じたイオンは陰極に向かって加速されメッシュ状陰極を通過し球中心に集束し衝突して核融合反応を生起します。その際、電子はイオンの作るポテンシャル（仮想陽極）により同じく球中心に加速されイオンの空間電荷を一部中和し、中心部の凸状電位分布の中心を凹ませより多くのイオンが核融合に関与できるように作用すると考えられます。

このIECF装置は、コンパクトで制御性に優れた理想的な中性子・陽子源として、非破壊検査や癌検査、人道的地雷探知など様々な分野での応用が期待されています。

本研究室では、既に直径35cmの装置で 1.1×10^7 n/secのD-D中性子の定常発生を実証しました。また、分光的計測方法（レーザ誘起蛍光法）により陰極中心付近の局所電界強度分布の直接的な測定に成功し、イオンの形成する仮想陽極の内側に仮想陰極が形成された電位二重井戸構造の存在を証明して、三十年に渡った論争に終止符を打ちました。

現在、科学技術振興機構事業で、このIECF中性子源による高性能地雷探査技術の研究・開発（図3）を、国内7機関と共同で進めています。そのために必須の超小型（直径20cm）で、アフガニスタンの過酷な環境に耐え、かつ高中性子束のIECF中性子源の開発に取り組んでいます。

既に研究グループで 2×10^8 n/sの中性子発生率をグロー放電のみで達成しましたが、より高エネルギーイオンの割合を増加させて核融合反応率をさらに一桁高めるため、図4のようなマグネトロン方式イオン供給機構をグロー放電と併用する新方式を提案して実験を行っています。図の配位での実験では、期待通り、この方式が高エネルギー成分の増加に有効であることを実証しました。今後は、引き続き、粒子シミュレーションも用いてマグネトロン方式イオン供給機構の高性能化を図り、さらに、これを複数台用いた実験も計画しています。

また、地雷探査応用において必須のパルス運転も、このマグネトロン方式イオン供給機構をトリガとして、主放電のパルス幅を良好に制御できることが判明しました。実際の運転では10A程度のパルス動作を予定しており、 $\sim 10^9$ n/sec程度の中性子生成率の実現を目標にしています。

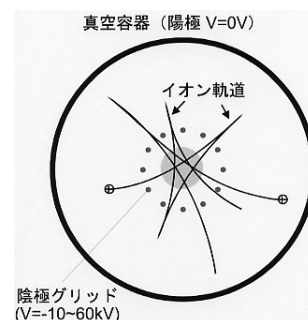


図1 IECF装置の概略図

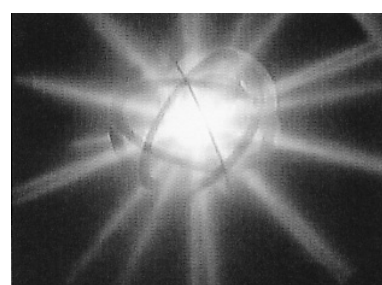


図2 陰極付近の放電の様子

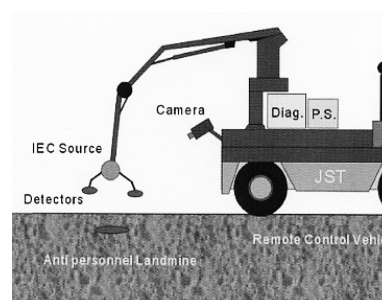


図3 IECF中性子源を用いた対人地雷探知：後方散乱中性子と捕獲ガンマ線を検出して地雷の場所と種類を同定します。

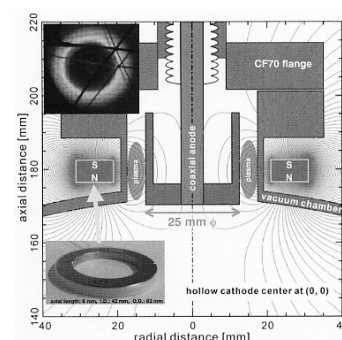


図4 マグネトロン放電機構：磁場分布と放電の様子(左上写真)

エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野（水内研究室） 「高パワーミリ波伝送システムコンポーネントの開発」

核融合炉において、核融合反応によって臨界条件や自己点火条件を達成するためには、アルファ粒子加熱による自己維持加熱に到達するまでに、何らかの形で外部からエネルギーをプラズマへ与える必要があります。プラズマ加熱法の主なものは、プラズマ中を流れる電流に伴うジュール加熱、高エネルギー粒子を入射する中性粒子ビーム入射加熱、プラズマ中に波動を励起し、その波動エネルギーによって加熱する波動加熱があります。電子サイクロトロン加熱（ECH、3-300GHz）は波動加熱のひとつで、1) 電子を選択的に加熱する、2) プラズマへのパワー吸収分布を局在化できる、3) アンテナとプラズマの接触により生じる不純物流入の問題を回避することができる、等の長所を有し、多くのプラズマ実験装置において利用されています。水内研究室では、現在、70GHzジャイロトロンを用いたプラズマ閉じ込め装置のための高パワーミリ波伝送系・入射システムの開発を行っています。プラズマ装置内への入力パワーは水負荷を用いたパワー測定をもとに、準光学マッチングユニットやバリアウインドウでのパワー損失を参考にしながら推測することができますが、時間発展を追うことはできない欠点があります。プラズマ実験では、パワーを変化させたり偏波器による偏波面制御を行うことがあり、実時間でミリ波出力をモニターすることが望まれていました。そこで、プラズマ実験でのパワーを実時間で把握することを目的とし、HE₁₁mode伝送系におけるパワーモニターの開発を行いました。

図1は実際に製作したパワーモニターの写真です。マイターバンドに取り付けられる反射板にカットオフ条件を満たす結合孔列を開け、これらの孔から漏れ出るパワーを反射板裏側に設置した副導波管を通して検出します。反射板裏側に組み込む副導波管の電界方向によって伝送パワーの偏波が弁別されるので、結合列を2列にし、E面とH面の進行波・反射波を同時に測定できるようにしました。アーキング防止のため導波管内は真空排気（ $\sim 10^{-2}$ Pa）されているため、副導波管も真空排気できなければならず、そのため、結合孔を開けた板にもう一枚アルミ板を重ね、その間にOリングとマイラシート等を挿入することで真空排気に対応できるようにしました。高パワー（300kW）でのパワーモニターの性能評価を行ったところ、理論から予測される強度に実験値がよく一致しており、パワーモニターとして機能していることがわかりました。図2はヘリオトロンJのECHプラズマに適用した際の時間発展例です。従来のポートからの漏れミリ波測定に比べ、伝送パワーを精度よく評価することが可能となりました。ECHは国際熱核融合実験炉ITERにおいても主要な加熱・電流駆動法として予定されており、1 MWの高パワーを定常に安定して伝送できるシステムコンポーネントの開発を進めて行く予定です。

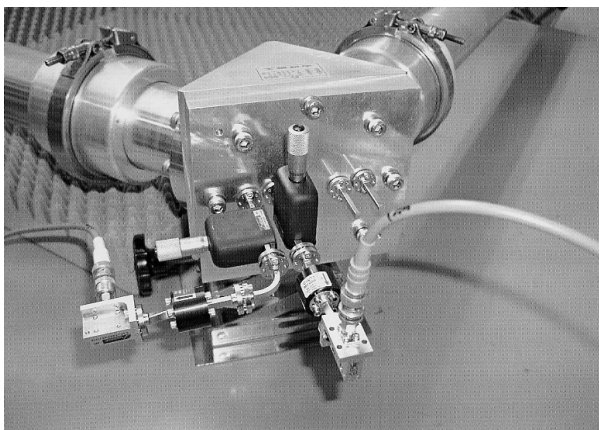


図1. マイターバンドに取り付けたパワーモニター外観

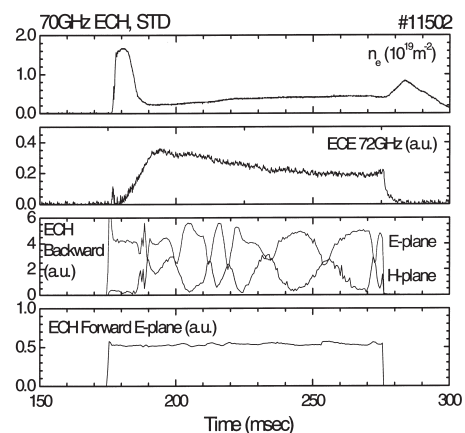


図2. ヘリオトロンJ ECHプラズマ実験におけるパワーモニターによる入射波と反射波の時間発展

生存圏診断統御研究系 レーダー大気圏科学分野（深尾研究室） 「レーダーリモートセンシングで赤道大気の謎に挑む」

『エル・ニーニョ』や『ラ・ニーニャ』という言葉が時折マスコミを賑わす。何れも赤道域に発達する大規模な積雲対流活動の異常現象である。その影響が中高緯度にまで及び異常気象や気候変動がもたらされる、という論調で語られることが多い。実は積雲対流活動の影響は地球規模に伝播するだけでなく高度数百kmの高層大気にも及んでいる。ご存知のように赤道域は地球上で太陽放射が最も強く積雲対流活動が最も活発となる。これにより各種の大気擾乱（大気振動や波動）が盛んに励起される。加えて、それらの上層への伝搬は赤道域で特に容易である。大気擾乱は伝搬途上の大気圏に半年や20数ヶ月（準2年）といった非季節的な周期振動を、さらに高層の電離圏に特有の電離擾乱を引き起こす（図1）。また赤道熱帯域は対流に伴って対流圏起源の大気成分が成層圏に流入する地球上の唯一の場所でもある。つまり赤道大気は対流や大気擾乱を通じて地表付近から高度数百kmに至る全ての高度域が上下に強く結び付いている。『赤道大気上下結合』と呼ぶこの現象は、海水温が最高で、活発な積雲対流を支えることができるインドネシア赤道域で特に顕著とされている。

しかしながら従来の観測には限界があり多くの物理過程が未解明のまま取り残されてきた。特にインドネシア域は観測の機会が少なかった。生存圏研究所（前宙空電波科学研究センター）では早くからこの地域の重要性に注目し、過去20年間にわたって様々な活動を推進してきた。その一つの集大成として平成13年3月、先端的な50MHz帯大型大気レーダー『赤道大気レーダー（Equatorial Atmosphere Radar: EAR）』をインドネシア共和国スマトラ島の赤道直下に設置し観測を開始した。これにあわせて文部科学省科学研究費補助金特定領域研究『赤道大気上下結合』（領域代表者：深尾昌一郎；平成13～18年度）を組織し活発な研究活動を継続している。これには国内の諸大学の研究者が多数参画している他、海外からインド・オーストラリア・台湾・米国・ペルー・ブラジルなどの研究者も協力している。本年3月中旬から2ヶ月間にわたって、EARサイトに図2に示す各種の観測装置を投入し、かつてない大規模な総合国際観測キャンペーンを成功裏に実施した。諸外国の観測もそれぞれ予定通り実施され、現在観測データの解析が鋭意進められている。

近年の地表や衛星からの環境計測の目覚ましい発展を見ると、地球大気のリモートセンシングは先端的な電子情報技術と研究者の創意工夫が縦横無尽に活かされている分野であることがわかる。我々もこれまで培ってきた大気レーダー技術を駆使して、地球大気変動の根源域と目される赤道域大気圏で新しい統一的な観測研究法を確立し、関連研究分野の飛躍に資したいと期している。

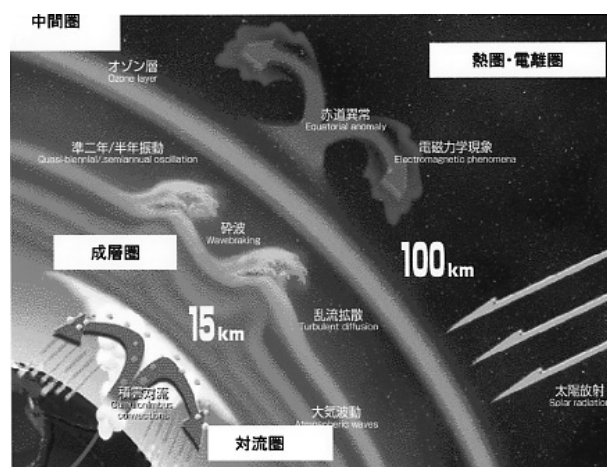


図1. 赤道大気上下結合概念図

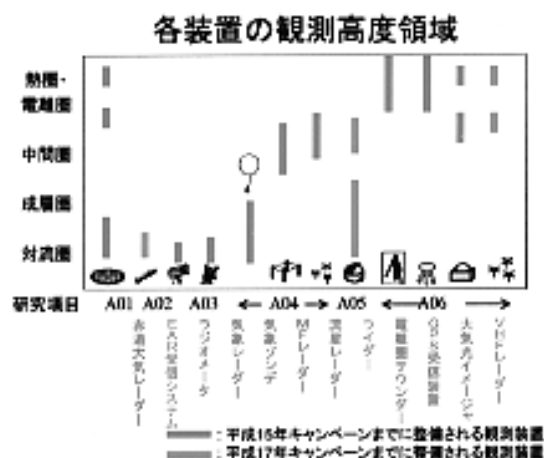


図2. 観測装置と観測高度域

生存圏開発創成研究系 生存圏電波応用分野（橋本研究室） 「位相振幅制御マグネトロンの開発」

当研究室では、同研究所の松本研究室、大村研究室をはじめとする生存圏研究所内の工学、情報学、理学、農学、薬学といった幅広い研究者と協力し、広く生存圏科学に関して研究を行っている。生存圏科学とは「太陽エネルギー依存型持続的社会の基盤構築を目指す分野横断的な学際総合科学」であり、当研究室ではマイクロ波応用工学を中心とした電波工学、通信工学、科学衛星による波動観測、信号処理、計算機シミュレーションといった研究を行なっている。本稿ではその中でも半導体技術を応用した新しい電子管技術について紹介する。

マグネトロンというマイクロ波管は安価で高出力、高効率という非常にいい特性を持っているが、発振管であるためにマイクロ波位相の制御ができず、温度特性により周波数/出力の長時間安定が悪いと思われており、その用途はほとんどが加熱用である。しかし、マイクロ波出力100万kW以上という宇宙太陽発電所SPSではマグネトロンの利点は非常に魅力的であり、当研究室ではこれまで注入同期法とPLLフィードバックを組み合わせた制御を用いた位相制御マグネトロンPCM（Phase Controlled Magnetron）を開発してきた。PLLフィードバックはマグネトロンをVCOと見立てれば半導体発振器の技術であり、Adlerによって定式化されている注入同期法も半導体発振器アレーで用いられている。さらにマグネトロンの電磁界で周波数と振幅を制御している点を利用し、世界初の位相振幅制御マグネトロンPACM（Phase and Amplitude Controlled Magnetron）の開発に成功した。図1にブロックダイアグラムを示す。PACMの周波数、位相及び振幅安定度はそれぞれ 10^{-6} 以下、 1° 以下、1%以内であり、通信やレーダー、マイクロ波送電に用いることも可能な安定度を実現した。また、この周波数/位相安定度で出力可変も100%以上を実現し（図2）、マグネトロンの可能性を広げた結果であった。

もともと位相制御マグネトロンは1960年代にW. C. Brownにより提唱されていた手法を我々が改良したものであり、現在アメリカやフランスで研究が再び行われている。しかし、他の研究グループはまだ安定度の議論まで進める段階ではなく、複数の位相制御マグネトロンを同期してフェイズドアレイとして構築することもできていない。我々の研究は数年先んじており、さらに今後パルス化や変調化も視野に入れて研究を行っていく。

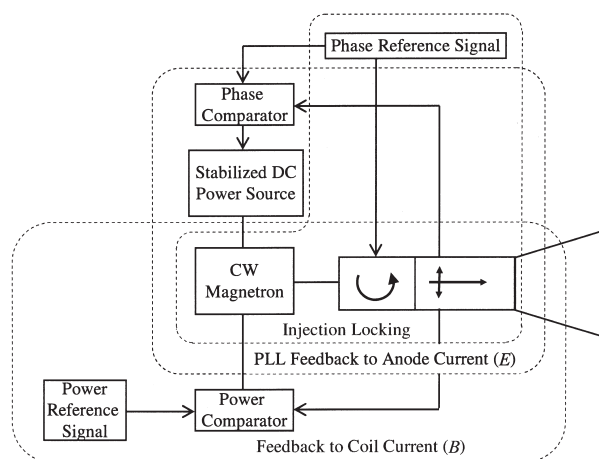


図1. 位相振幅制御マグネトロンのブロックダイアグラム

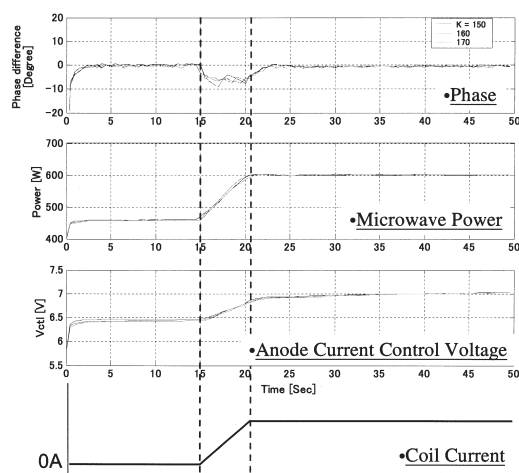


図2. コイル電流を外部制御により変化させてマイクロ波出力を変化させたときの位相振幅制御マグネトロンの位相及び周波数安定性